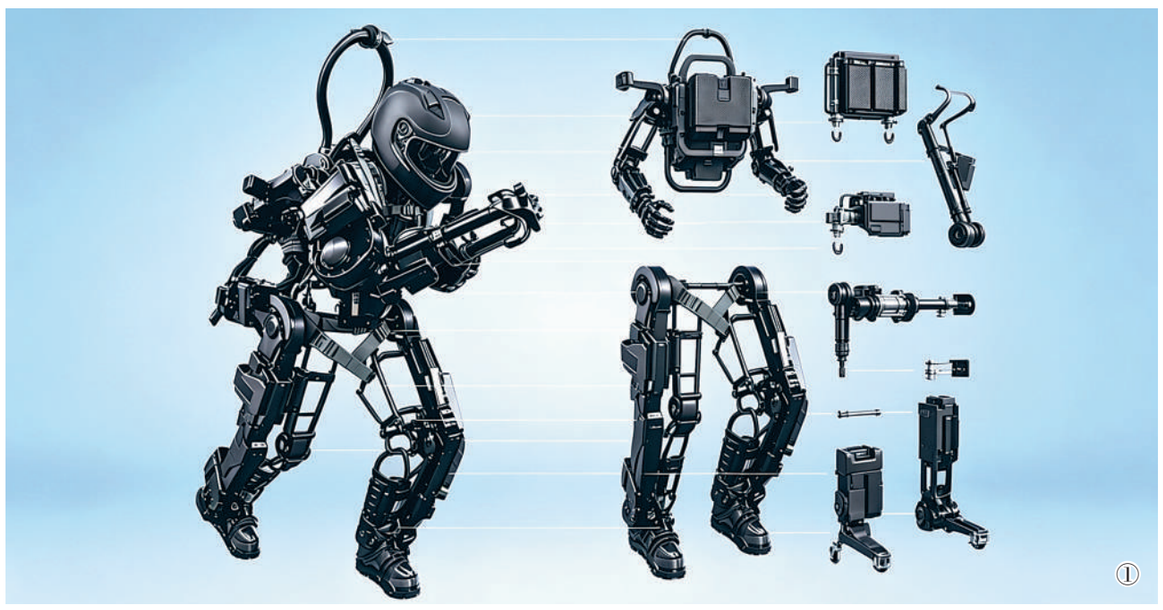
单兵外骨骼

“未来战甲”的硬核和软肋

■刘博 刘含

前不久，由美国陆军医学研发司令部牵头研发的IBEX外骨骼项目，已完成陆军、海军陆战队等多军兵种野外测试；北约多国山地部队同期围绕新型外骨骼展开联合测评，重点检验其复杂地形条件下的负重机动效能。

从技术验证到实战应用，单兵外骨骼正一步步走出“钢铁侠”式的科幻想象，向贴合战场需求、服务实战运用的方向演进。这一寄托着突破单兵体能极限厚望的装备，经历了怎样的技术迭代？不同技术路线背后，蕴含着怎样的战场考量，各有哪些特质和不足？未来又将呈现怎样的发展走向？请看本文解读。



①



②



③

兵器广角

体能有限：依托装备革新释放战斗力，为单兵卸下重负

现代战场上，有一个绕不开的现实问题：人体体能，越来越跟不上现代作战的负重需求与持续强度。

随着单兵作战体系升级，防护、通信、侦察、火力等功能不断叠加。全套防护、电台终端、观瞄器材、弹药基数与野战给养，使单兵负重常年逼近生理上限。平原条件下，尚能维持基本战术动作；一旦进入高原山地、沟壑林地、城镇废墟，车辆通行受限，战场保障“最后一公里”断联，弹药前送、伤员转运、器材搬运等任务，最终仍要落到单兵身上。

这在高海拔山地环境显得尤为突出。高原地区，空气含氧量显著低于平原，同等距离负重行军，身体代谢消耗成倍增加，体能衰减远超常规环境。长期高强度、超负荷作业，会直接导致人员机动速度下降、应急反应迟缓、规避能力减弱。

体能训练能够挖掘人体潜能，却无法突破单兵生理上限。在高强度、持续性作战条件下，单纯依靠官兵身体素质支撑末端保障与战场机动，已难以适配实战需求。依托装备革新释放战斗力，成为必然选择。单兵外骨骼由此迎来规模化发展、实战化应用的窗口期。

外骨骼的减负逻辑，本质是对人体力学体系的优化重构。传统负重时，载荷经肩背、脊柱传导，靠肌肉持续发力维持姿态；外骨骼则通过外置刚性支架，搭建独立载荷传导旁路，把大部分负重从肩背、腰腹直接疏导至地面，减少肌肉持续承压，实现高效减负、持久作战。

这套看似简单的力学结构，历经数次迭代，才从工业设备进化为战场装备。

初代军用外骨骼脱胎于工业起重机械，主打大负重、强起重。据公开资料显示，美国XOS-2液压外骨骼依托高压液压系统驱动，负重感知比可达17:1，可反复举升近90公斤重物。但其战场适配性明显不足，高度依赖外接液压站与供电系统，脱离后电池续航仅40分钟；金属结构笨重、关节僵硬，无法完成匍匐、翻越、急转向等基础战术动作，只能用于后方仓库物资吊装。脱胎于工业设备的“基因”，使其终究难以走出“仓库”和厂房。

真正让外骨骼走进军营、贴近实战的，是第二代无源机械外骨骼。随着碳纤维轻量化材料、仿生关节结构成熟，外骨骼开始摆脱重型液压系统束缚，自重大幅降低，力传导路径更加顺畅，能稳定把人体负重分流至地面。

近年来，有多个国家在加快推进高原型无源外骨骼的研发与试用。从公开资料看，此类装备额定背负多在30至50公斤，可贴合徒步巡逻节奏保持每小时4至5公里机动，续航里程20公里左右。部分型号已在海拔5000米级高原地区投入使用，成为无源技术路线贴近实战的典型样本。

因需取舍：没有最好的装备，只有最适合战场的装备

走出工业局限的单兵外骨骼，并未走向统一的“终极形态”，而是在不同战场需求牵引下分化出迥异技术路线。各国也依据自身战场环境、核心任务与工业基础，在自重、续航、性能、通用性间反复权衡，作出了不同选择。

大众认知里，带动力的外骨骼才配得上“未来战甲”，但在高寒、强沙尘等补给困难的极端战场，恰恰是纯机械无源外骨骼最先拿到入场券。德国梅勒防护公司EXOM无源外骨骼采用钛合金一体化支架，可将70%负重传导至地面，额定负重90公斤，全程无需电源，关节活动度保留99%，适配长距离渗透与山地巡逻。这条路线剔除所有易损电子部件，仅靠刚性支架与仿生关节承载，既无低温失效、沙尘短路的故障风险，也无需能源补给，几乎零维护即可持续作业。它的局限也很明显，仅在站立静止、匀速直行时减负效果最优，匍匐、转向等复杂动作下助力衰减明显。但对前沿部署场景而言，其零耗电、高可靠性所带来的实战价值，仍然十分可观、不容小觑。

无源装备靠可靠性站稳脚跟，同时各国也在大力推动有源动力外骨骼研发，原因很简单：无源只能“减负”，无法“增能”。有源外骨骼的目标是真正突破生理极限，通过电机、液压单元主动输出助力，配合姿态传感器跟随人体动作，不仅能分担负重，还能提供额外动力，有些型号还尝试集成装甲、指控、侦察模块，追求单兵战力的跃升。俄罗斯“百夫长”外骨骼是典型代表，它跳出单一负重辅助定位，融合动力助力、轻量化护甲、智能终端与生命保障模块，预留无人机操控、AI协同接口，试图打造完整的未来战士系统。但这条路线绕不开死循环：动力越强功能越全，能耗就越高，所需电池越大，装备自重随之增加，最终抵消助力效果甚至成为负担。受限于高容量电池技术，“百夫长”满载续航不足4小时，自重偏大，目前仍处于测试阶段。

在两条主流路线之外，还有一条更务实的专向路线。它跳出“全地形全任务适配”的执念，针对某一类高频重复作业砍掉冗余功能，极致压缩自重与结构复杂度，以牺牲通用性换取特定场景的效率提升，效费比远超大而全的通用型号。德国奥托博克肩部专用外骨骼，专为重复性抬举设计，全重不足2公斤，可快速穿脱，在炮兵装填、装备维修等作业中，能降低肩部肌肉疲劳30%以上，大幅延长连续作业时间。类似的还有海岸巡逻专用外骨骼、腰部助力搬运外骨骼等，均聚焦单一场景深耕性能。

客观来说，几种路径无高低优劣之分，只有场景适配之别。装备发展的铁律在外骨骼上再次印证：没有最好的装备，只有最适合战场的装备，所有技术取舍最终都要向实战需求靠拢。

发展破局：褪去“全能战甲”想象，回归务实战场定位

即便技术路线不断成熟、装备形态持续优化，当下单兵外骨骼发展与大规模战场应用，仍然有很远的距离。经过多国实战测评与一线试用，其短板已不在机械承重、负重输出等硬件层面，而在人机协同的适配精度。褪去“全能战甲”的想象，外骨骼的战场定位，正逐渐向单兵战力保障务实回归。

人机耦合延迟，是当前制约实战效能的核心瓶颈。外骨骼的助力输出，必须与人体运动意图高度同步。从姿态传感器捕捉动作信号、处理器运算助力参数，到动力结构输出支撑力矩，整套链路只要出现数百毫秒的延迟，就会造成人体动作与机械助力错位，让使用人员产生卡顿感、僵硬感。

去年，斯洛文尼亚、德国山地部队联合开展Hypershell X外骨骼山地实战测评，20名参训士兵人均负重20公斤，依次完成陡坡行进、障碍翻越、伤员拖拽、战术匍匐等课目。测评显示，装备能有效降低基础体力消耗，但整体提升幅度有限；士兵普遍反馈腰背、膝盖承压不适，战术动作幅度受限，电池续航不稳定、响应滞后问题突出。

在乱石密布、坡度起伏的复杂山地，人机响应延迟会被持续放大，形成明显的人机对抗。当人体抬腿、俯身、转向时，机械支架仍处于原有承重状态，滞后支撑力反而形成阻力，官兵需额外发力抵消装备惯性与机械阻力。这也是一线士兵最直观的体验：外骨骼卸掉肩背静态负重，却把机械自重、运动惯性、响应滞后负荷转移至下肢，最终出现“肩膀减负、双腿受累”的现象。

除人机耦合短板外，能源供给与环境可靠性，是外骨骼难以规避的另一重难题。有源外骨骼高度依赖电池，高寒环境容量骤降、高强度作业续航缩水、战场更换电池易暴露目标等问题，始终未彻底攻克。无源外骨骼虽无续航焦虑、无惧极端环境，但助力效能高度依赖平稳姿态，在机动频繁、地形复杂的战场中助力衰减明显，实战稳定性下降。

据公开报道，TALOS项目终止后，美军对动力外骨骼的实战定位趋于务实，转而专注下肢简易助力装备，并认为外骨骼更适用于长途行军、后勤转运等平缓场景；在近战突击、复杂战术机动中，士兵往往需要脱卸装备。

这一认知转变，标志着外骨骼正在告别“战力倍增器”的过高定位，回归步兵耐力维持、末端保障支撑的实战本位。它无法让士兵化身全能战士，却能实现三重增益：同等负重下减少体能消耗，同等体能下提升物资携行量，同等保障条件下延长持续作战时间。

立足于务实定位，未来单兵外骨骼的迭代升级，大致沿四个方向展开。人机耦合精准化，依托肌电传感、姿态感知、AI算法，压缩响应延迟，消除人机对抗，实现装备随人体动作自适应贴合助力；能源材料高效化，迭代高适配、高续航、耐低温的新型电池与轻量化复合材料，平衡自重与续航；装备构型场景化，针对高原巡逻、炮兵作业、山地机动、城镇巷战等不同战场，研发专属构型，实现专装专用；作战融入体系化，增设通用标准化接口，与单兵防护、通信、观瞄装备深度融合，从单一减负装备升级为一体化单兵作战承载平台。

从科幻概念走向战场实用，从全能幻想走向精准适配，单兵外骨骼的迭代之路，是现代陆战装备立足实战、务实精进的缩影。正视其价值、直面其短板，持续在人机适配、场景适配、体系适配上突破，这款“未来战甲”方能成为支撑末端战场持续作战的关键装备。

图①：美国雷神XOS-2外骨骼渲染图；**图②**：俄罗斯“百夫长”外骨骼系统渲染图；**图③**：无动力外骨骼渲染图。

资料图片

澳大利亚三型无人海上平台载荷方案公开——

水下无人作战体系加速形成

■王彦文 严子昌

兵器动态

前不久，澳大利亚首次公开“幽灵鲨”“矛牙”无人潜航器和“蓝瓶”无人水面艇的任务载荷集成进展，并赴美参加联合演练。这是其无人海上力量由试验验证向实战部署转型的关键一步，标志着澳大利亚的水下无人作战体系正加速形成。

以往，无人潜航器多用于海洋测绘、环境监测。此次披露的远程物资投送、水雷布设、无人航空器释放等载荷，则直接指向水下攻防、海上拒止和关键基础设施防护等作战场景。

三型平台分工明确。“幽灵鲨”作为超大型自主无人潜航器，依托大吨位、长续航优势，可搭载大尺寸载荷执行跨战区水下部署，承担纵深布雷、远程物资投送等任务；“矛牙”属大型无人潜航器，侧重战役战术级运用，以较强机动性适配编队协同、区域警戒；“蓝瓶”无人水面艇依靠可再生能源实现超长续航，可长期驻留任务海域，感知水面态势，并作为水下潜航器的通信中继，缓解水下平台远距离通信受限问题。

载荷方案中，布雷能力尤受关注。公开资料显示，“幽灵鲨”单次任务最多可携带12枚水雷，展示中出现的智能水雷可潜伏长达一年，迫使对手投入更多时间与资源用于扫雷、绕行。其释放无人航空器的能力，如同给水下平台装上了“空中之眼”。潜航器上浮后可投放ALTIUS系列无人机，侦察型航程约375公里，能显著拓展信息获取范围；必要时，其改进型号还可挂载战斗部对目标实施攻击。

三型平台覆盖水面、水下不同空间，兼顾远、中、近任务半径，形成梯次衔接、功能互补的无人海上作战装备体系。更值得关注的是，三型平台普遍采用模块化设计，平台与任务设备分离，同一艇体更换载荷即可在侦察、布雷、补给等角色间切换。无人装备正由“专用工具”走向“通用载具”。

这一转型的深层驱动力，来自美英澳三边安全伙伴关系（AUKUS）第二支柱的战略捆绑。今年5月，三国国防部长宣布启动第二支柱首个标志性项目，重点发展适用于三国水下无人平台的先进任务载荷，计划2027年前交付通用载荷并探索互换使用。此次澳方将载荷验证纳入赴美演练方案，意在借助美英技术标准与试验环境，加速装备融入联盟作战体系，推动载荷标准、通信协议与指挥体系兼容统一，进而在印太地区构建可与美英无缝衔接的无人海上力量。

当前，澳方海上无人作战体系不断完善，但其“武装化”之路仍面临重重制约：核心技术高度依赖AUKUS框架下美英支持，自主可控程度有限；各型平台尚处小批量交付阶段，规模化部署能力不足；复杂海况下的运行可靠性、多平台自主协同算法、野战保障体系均未经过充分验证，距离形成稳定实战能力仍有差距。

放眼全球，无人平台武装化已是海上装备发展的明确方向。未来竞争不只在于建造更多无人艇、无人潜航器，更在于同步布局模块化载荷体系、跨域协同算法和配套保障能力，推动无人装备从零散辅助工具融入分布式海上作战体系，以应对海上对抗格局的新变化。

无人潜航器，深海“搭便车”

■李芮

兵器趣闻

搭着舰艇去“上班”，是一种什么样的体验？

前不久，美国洛克希德·马丁公司在防务展上公开了一款名为“七鳃鳗”的多任务自主水下无人潜航器。宣传视频里，它正吸附在美海军“弗吉尼亚”级核潜艇底部，不耗自身能量，一路“搭便车”抵达目的地。

该潜航器名字取自深海生物。七鳃鳗靠吸盘吸附在宿主鱼身上，吸血进食；这款潜航器把“寄生”逻辑搬到了水下装备上——艇体顶部装有多套吸附装置，能自主导航到水面舰艇、商船或潜艇底部并固定。宿主航行期间，它不仅不消耗推进动力，还能展开水力发电机，借船体周围的水流充电。等脱离宿主时，电池反倒处于高电量状态。

蹭车还蹭电，隐蔽性也不含糊。附着状态下，它尽量贴合宿主外形，不产生明显额外湍流噪声，远程探测很难把一艘正常航行的船和船底挂着的潜航器区分开。

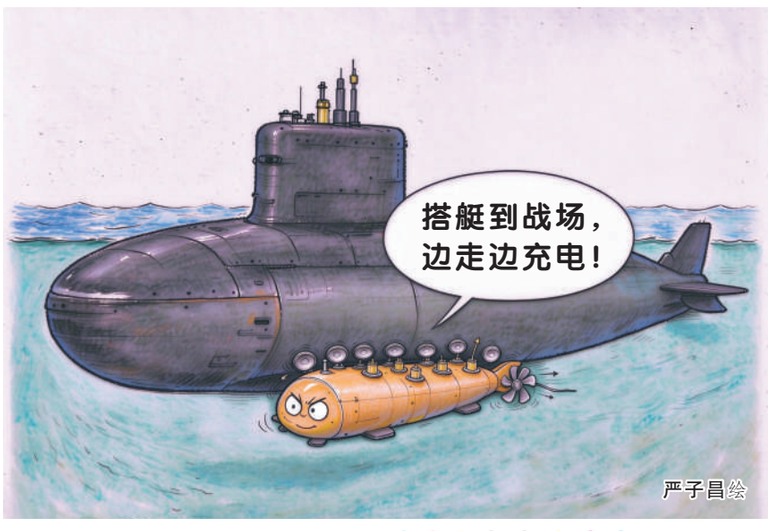
过去，无人潜航器比拼的是续航、动力和独立远洋能力，“七鳃鳗”则把航行手段交给现有海上交通网络，把自身能量集中留给脱离宿主后的侦察、打击或欺骗任务。这为未来无人潜航器的设计发展提供了新思路：不必执着于为每一个任务节点都配备完整的远程航行能力。

同时，“七鳃鳗”无人潜航器还具有较强的任务弹性。公开资料显示，其通用载荷舱约0.68立方米，采用开放式接口，可按任务快速换装——同一具艇体，能在侦察节点、打击节点和欺骗工具之间切换。对于需要低成本、低特征、分布式部署的水下力量而言，这种“平台通用化、载荷任务化”的思路比追求单一型号的大而全更具扩展性。

公开演习信息中，它曾完成海底电缆自主勘测，并在全球定位系统拒止条件下向指定位置投放载荷。这说明它已不只是“能吸附、能航行”的验证平台，而是进入了“勘测—决策—行动”的任务闭环测试。

当然，“搭便车”也有代价。水下通信带宽有限，高带宽情报回传仍需上浮或依赖低带宽声学链路；搭车充电解决了航渡能耗，脱离后的高速机动和持续作战仍受电池技术限制；回收环节在恶劣海况或受干扰环境下存在风险；远程投送高度依赖宿主舰船的航线，在远离商业航道的开阔海域，这套逻辑的适用范围可能收窄。

对大型长航时无人潜航器而言，“七鳃鳗”不是替代者，而是补充：前者独立覆盖远洋和战略级任务，后者依托商业航道、友军舰队和现有物流，以更低成本在前沿借力存在。说到底，它把海上交通网络本身变成了投送体系的一部分。



严子昌绘